

Uso dei dati satellitari per la classificazione ed il monitoraggio delle aree forestali

Introduzione

Gli ultimi anni che ci hanno separato del nuovo millennio, ci hanno fatto abituare ad un progressivo e vertiginoso incremento tecnologico in molti settori produttivi dell'economia. Computer dalle caratteristiche sempre più avanzate, in termini di velocità di calcolo e di capacità di immagazzinamento dei dati, stanno diventando uno strumento fondamentale di analisi e di lavoro per molti studi professionali anche nel settore agronomico, forestale ed ambientale.

L'evoluzione tecnologica che ha investito anche il settore della comunicazione visiva (documenti multimediali accessibili sia su CD-ROM, sia sulla rete internet, etc), ha portato allo sviluppo di numerose risorse software per l'elaborazione delle immagini attualmente disponibili a basso costo e facilmente utilizzabili anche da utenti non esperti.

Il lancio dei satelliti per l'osservazione della terra e la fornitura attraverso strutture commerciali dei dati da essi raccolti sta offrendo nuove possibilità e potenzialità per lo studio e la gestione del territorio, in special modo nei riguardi delle risorse agricole e forestali.

I sistemi di elaborazione delle immagini da satellite sono normalmente integrati in software per la gestione e l'elaborazione dei dati territoriali noti anche con l'acronimo

GIS (*Geographical Information System*). La scelta di inserire funzionalità di elaborazione di immagini telerilevate in software GIS nasce dalla necessità di esplicitare delle informazioni contenute potenzialmente nelle immagini e rese disponibili da appropriati algoritmi di calcolo.

L'integrazione infatti di dati derivati da scene telerilevate con i consueti "layers" del GIS (strati informativi) ci consente di attingere ad un'ulteriore fonte di dati facilmente aggiornabili e di rapido sfruttamento utile per una completa analisi del territorio.

Nel presente lavoro sono elencate alcune applicazioni nel settore forestale, basate sull'integrazione delle immagini satellitari in un sistema informativo geografico.

Dati e metodologie utilizzate

Per "telerilevamento" s'intende l'acquisizione di informazioni sullo stato di un oggetto senza entrare in contatto con esso. Nella pratica, prescindendo dalla definizione generale che può generare numerosi problemi interpretativi, per telerilevamento s'intende l'azione di misurare alcune caratteristiche di un oggetto, generalmente le interazioni tra l'oggetto stesso e la radiazione elettromagnetica, tramite particolari sensori montati su piattaforme aeree o satellitari (RICHARDS, 1993)

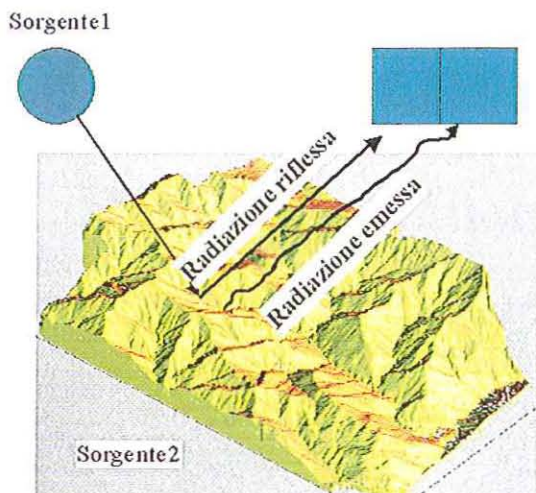


Fig. 1 - Sistema di acquisizione dati remoto.

Nella figura 1 è riportato schematicamente il sistema di acquisizione dei dati da sensore remoto.

La riflessione dell'energia nello spettro elettromagnetico prende anche il nome di "firma spettrale" ed indica quindi in modo esplicito la peculiarità e il legame univoco dell'oggetto in esame con la sua risposta spettrale.

Nella figura 2 vengono evidenziate alcune risposte tipiche di oggetti presenti sulla superficie terrestre.

Sensori utilizzati nelle principali applicazioni

I sensori montati sui satelliti di tipo com-

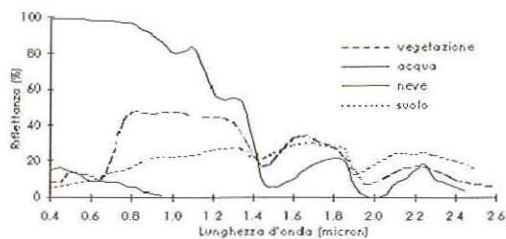
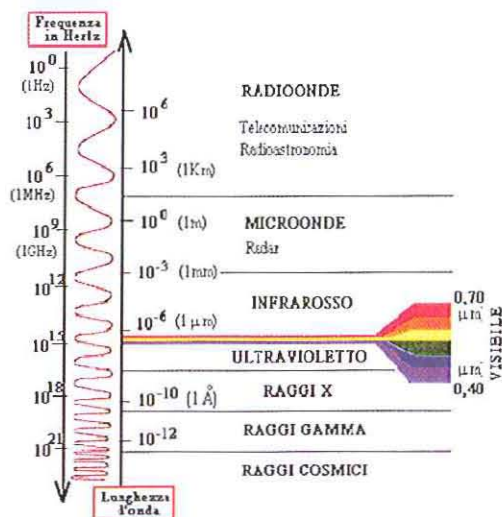


Fig. 2 - Firme spettrali di alcuni elementi che possono comporre una scena.



merciale si distinguono in base alla risoluzione del pixel che compone la scena ed alle bande (intervallo di frequenza di acquisizione) acquisite.

Nella tabella 1 vengono riportate le caratteristiche dei principali sensori che attualmente vengono utilizzati.

Negli ultimi anni abbiamo assistito alla progettazione ed al successivo lancio in orbita di satelliti ad altissima risoluzione spaziale (risoluzione a terra pari a 1 metro) e multi-spettrale. Le possibilità offerte quindi da queste nuove tecnologie saranno sempre più simili a quelle dei prodotti realizzati con sensori aviotrasportati.

Alcune applicazioni possibili

Classificazioni automatiche

L'aggiornamento della cartografia di uso del suolo ad una scala di circa 1:50.000 è una delle maggiori applicazioni delle immagini Landsat TM. In effetti utilizzando 2-3 immagini sgombre da nubi, riprese durante la stagione vegetativa e dei riferimenti relativi alle principali classi di uso del suolo è possibile ottenere degli inventari

Tab. 1 - Caratteristiche dei principali sensori che attualmente vengono utilizzati.

SATELLITI	LANDSAT	SPOT	IRS
SENSORI	TM ETM+	HRV	LISIII
DATA DEL LANCIO	MARZO 1984	SETT. 1993	SETT. 1985
TEMPO DI RIVISITAZIONE	16 GG	26 GG	24 GG
CARATTERISTICA DELL'ORBITA	ELIOSINCRONA	ELISOSINCRONA	ELIOSINCRONA
SWATH	185 Km	60 Km	142 Km (70 Km)
BANDE E RISOLUZIONE	0.45-0.52 μ m 30 m 0.52-0.60 μ m 30 m 0.63-0.69 μ m 30m 0.76-0.90 μ m 30 m 1.55-1.75 μ m 30 m 10.40-12.50 μ m120 m 2.08-2.35 μ m 30 m	0.51-0.59 μ m 20 m 0.61-0.68 μ m 20 m 0.79-0.89 μ m 20 m 0.51-0.73 μ m 10 m	0.52-0.59 μ m 23m 0.62-0.68 μ m 23m 0.77-0.86 μ m 23m 1.55-1.76 μ m 23m 0.50-0.75 μ m 6.8 m

con 15-20 classi con una precisione tematica dell'80-9%. Numerose sono ormai le procedure di classificazione controllate (*supervised*) riportate in letteratura e molte sono quelle che garantiscono un'adattabilità operativa.

Brevemente viene descritta la procedura logica seguita normalmente per questo tipo di attività:

Pre-processamento delle scene Landsat

In questa fase vengono acquisite le scene ed integrate nel sistema software di processamento. Dopo le consuete e preliminari analisi sull'istogramma dei vari canali, vengono visualizzate e memorizzate alcune elaborazioni in falso colore che serviranno per le successive analisi. Sempre in questa fase viene effettuata la correzione geometrica della scena in modo da rendere possibile la corrispondenza dei pixels con le coordinate di grigliato di riferimento per esempio UTM o Gauss Boaga.

Identificazione della verità a terra ed estrazione delle firme spettrali

Attraverso la raccolta di aree di verità a

terra con metodologie tradizionali di rilievo (foto aeree, rilievo in campo etc), viene raccolto il dato necessario per il *training* dell'algoritmo di classificazione; in pratica vengono raccolte le statistiche principali che identificano la "firma spettrale" dell'oggetto che andremo ad identificare in modo automatico. La firma spettrale consiste in un vettore delle medie per ogni banda e della matrice di varianza-covarianza.

Classificazione della scena intera

Una volta raccolte tutte le firme spettrali viene scelto l'algoritmo di classificazione. Attualmente in tutti i software diffusi per l'elaborazione delle immagini è possibile scegliere fra una vasta gamma di classificatori e quindi viene lasciata un'ampia scelta di possibili algoritmi per eseguire tale operazione. Normalmente per una classificazione di tipo standard l'algoritmo maggiormente utilizzato è quello basato sulla "massima verosomiglianza". In pratica per ogni pixel della scena l'algoritmo calcola la probabilità di appartenenza ad una determinata classe del *training* e in base alla sua probabilità massima assegna al pixel la classe corrispondente.

Analisi della precisione.

Successivamente alla classificazione vengono eseguiti dei test per verificare l'attendibilità del risultato ottenuto. I test di accuratezza sono generalmente eseguiti sulla matrice di "confusione". Tale matrice è costituita a partire dalla classificazione e da alcuni pixels presi come test. E' una matrice quadrata (il numero delle righe è uguale a quello delle colonne) in cui sulle righe è presente il dato classificato mentre sulle colonne il dato di verità a terra. Se la classificazione presentasse il massimo grado di accuratezza tutti i dati cadrebbero sulla diagonale principale della matrice di confusione (pieno accordo tra verità e classificazione). Molti indici sono stati ipotizzati per rappresentare la dispersione nella matrice di confusione e normalmente vengono usati la Precisione e l'indice Kappa (CONGALTON *et al.*, 1983).

Monitoraggio dei danni alle foreste

In base all'andamento tipico della risposta spettrale della vegetazione è possibile calcolare degli indici, per ogni pixel, in modo da enfatizzarne certe caratteristiche. Come si nota in figura 2 la vegetazione as-

sorbe quasi completamente la luce nel visibile (380-720 nm), tranne una piccola quantità nel verde (550 nm). Viceversa le piante riflettono moltissimo nell'infrarosso vicino. Pertanto le bande nel rosso e nell'infrarosso vicino risultano entrambe molto utili per individuare la presenza di vegetazione sul territorio. Fra i vari indici impiegati per quantificare la biomassa vegetale, il più diffuso è certamente l'NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (RICHARDSON, WIEGAND, 1977):

$$NDVI = (NIR-RED)/(NIR+RED)$$

in cui

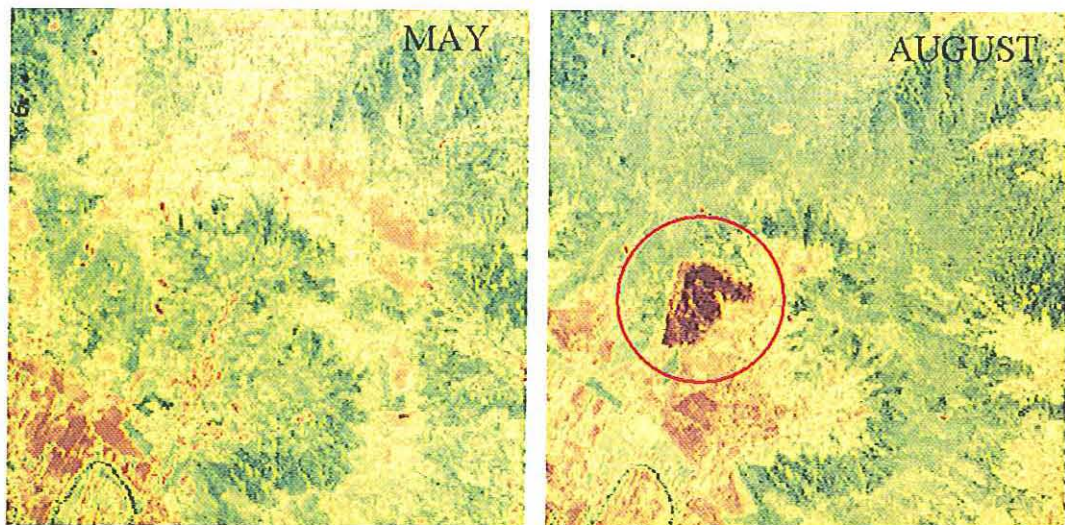
NIR = *Near Infrared*, la riflettanza della banda nell'infrarosso vicino

RED = *Visible Red*, la riflettanza della banda nell'infrarosso visibile

Con l'analisi degli indici di vegetazione, acquisiti in tempi diversi, è dunque possibile analizzare i cambiamenti che sono avvenuti nella copertura vegetale.

Riconoscimento delle aree incendiate

L'analisi di due indici sintetici acquisiti in tempi successivi mette in evidenza le



50 Fig. 3 - Esempio di IRI calcolato su scene acquisite in maggio e agosto.

zone che presentano una forte diversificazione nello stato della vegetazione. L'incendio procura in molti casi, la distruzione completa della vegetazione e molto spesso nelle zone limitrofe i danni sono limitati alle chiome che presentano parte delle foglie completamente compromesse. Anche in questo caso i danni anche lievi alle chiome sono facilmente individuabili attraverso le tecniche sopra descritte (CHUVIECO *et al.*, 1988).

Per il monitoraggio delle aree percorse da incendio, molti studi operativi hanno utilizzato le immagini del sensore TM ed in particolare gli indici realizzati con le bande 3, 4 e/o 5.

Utilizzando infatti le bande 4 e 5 con la solita formula dell'NDVI è possibile realizzare un indice che è molto più sensibile alle variazioni nella copertura vegetale chiamato in questo caso IRI (*Infrared Index*).

Nella figura 3 è possibile osservare come

l'incendio che appare come una macchia scura sulla seconda immagine, sia facilmente individuabile attraverso un'analisi multitemporale (SINGH, 1989).

L'elaborazione eseguita con un algoritmo decorrelante evidenzia ed isola l'area che presenta i maggiori cambiamenti. In definitiva una volta isolate le aree percorse da incendi, è possibile analizzare e creare un catasto informatizzato facilmente gestibile ed utilizzabile con i consueti sistemi GIS vedi figura 4 (MARCHETTI, RICOTTA, 1993; RICHARDS, 1984)

Stima dei danni alla copertura vegetale

I diversi tipi di inquinamento ambientale e gli abituali attacchi dovuti a naturali patogeni hanno causato negli ultimi decenni ampi fenomeni di degradazione della ve-

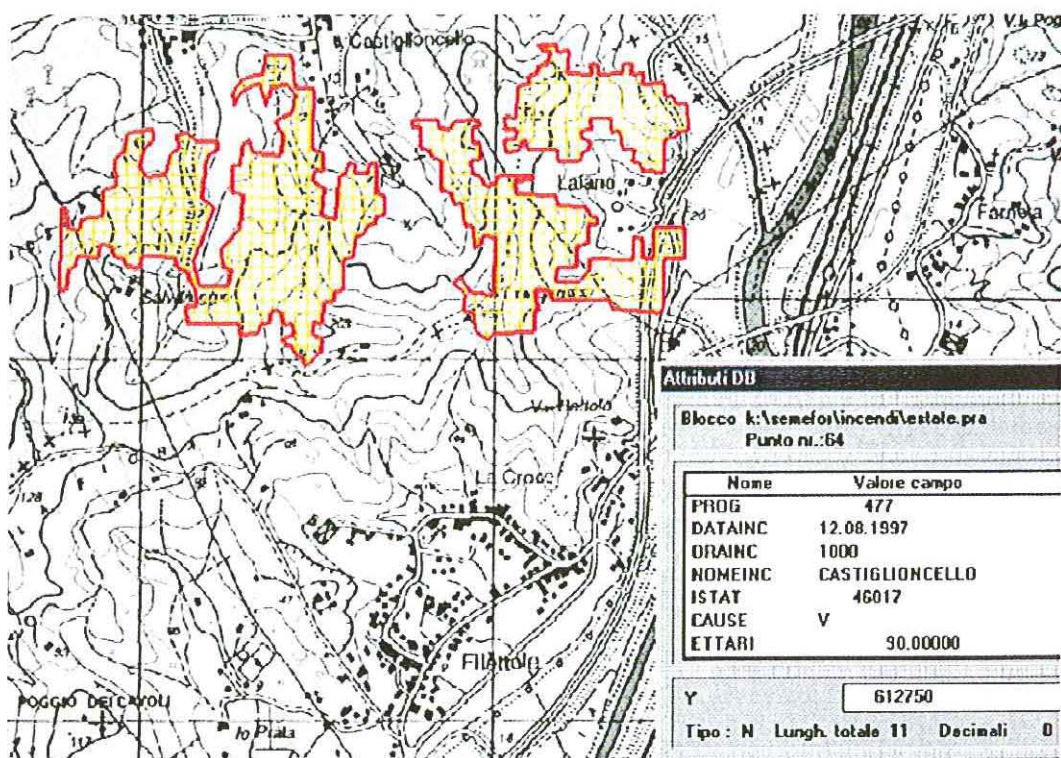


Fig. 4 - Esempio di catasto informatizzato delle aree incendiate.

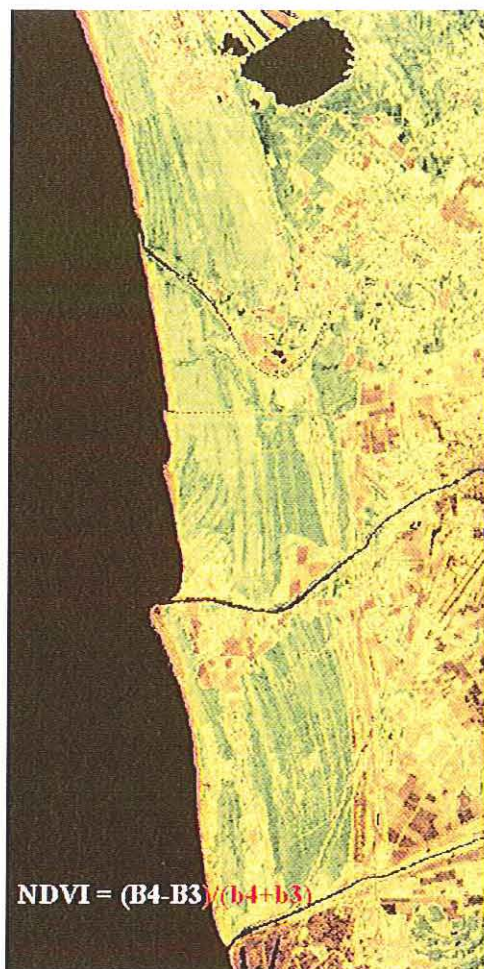
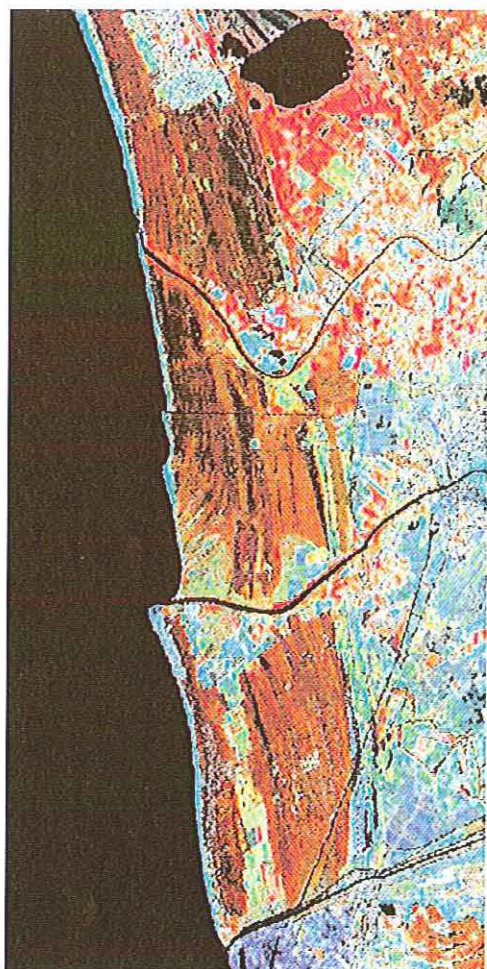


Fig. 5 - Falso colore e NDVI dell'area di San Rossore e Migliarino (Landsat TM).

getazione forestale che necessitano di essere accuratamente mappati per poter pianificare interventi di contenimento e recupero.

I dati del Landsat TM e SPOT HRV sono stati ampiamente utilizzati a questo fine con progetti operativi di monitoraggio. La tecnica di valutazione dei danni è stata valutata anche sul territorio italiano ed in particolare sulla vegetazione mediterranea, all'interno di un progetto finanziato dalla Comunità Europea denominato SEMEFOR (*Satellite based Environmental Monitoring of European Forest*). Il caso di studio è particolarmente rappresentativo perché l'area in esame (Foresta di "San Rossore e Mi-

gliarino") presenta un range molto ampio di livelli di danni, con le piante prossime al mare completamente defoliate.

Nella figura 5 è riportata una rappresentazione in falsi colori dell'area unitamente all'indice di vegetazione NDVI che è stato utilizzato.

Come metodo di mappatura del danno è stato utilizzato un sistema basato sulla classificazione *fuzzy* delle immagini che, in recenti lavori (EKSTRAND, 1994, 1996; MASELLI *et al.*, 1995), si è dimostrato più efficiente rispetto alle tecniche convenzionali di regressione che sono normalmente applicate per scopi simili. Il metodo di stima *fuzzy* è

stato calibrato su un certo numero di particelle forestali con danno noto usando dati TM, e i risultati ottenuti sono stati valutati su altri *stand* sempre con danno conosciuto. La presenza di semplici relazioni fra le variabili telerilevate e i parametri ambientali è tuttavia spesso disturbata dall'effetto di diversi fattori (differenze di illuminazione delle superfici, presenza di suoli diversi, mescolanza di specie vegetali, ecc.). In questi casi può pertanto essere utile una tecnica di estrazione dell'informazione più flessibile come quella basata sulle classificazioni *fuzzy* (Foody *et al.*, 1992)

Nella figura 6 viene mostrato il risultato della stima attraverso la tecnica *fuzzy* e nella figura 7 il risultato della mappa dei danni alle conifere.

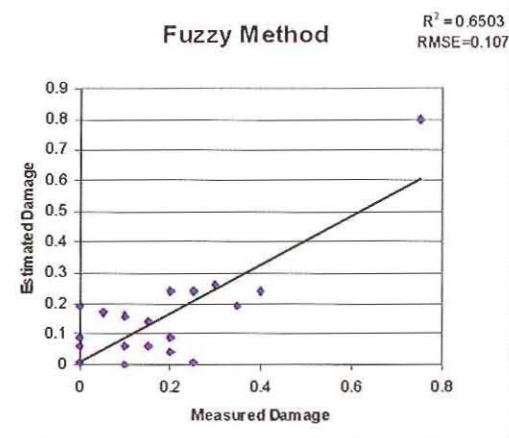


Fig. 6 - Risultato della stima del danno sulle conifere con metodologia *fuzzy*.

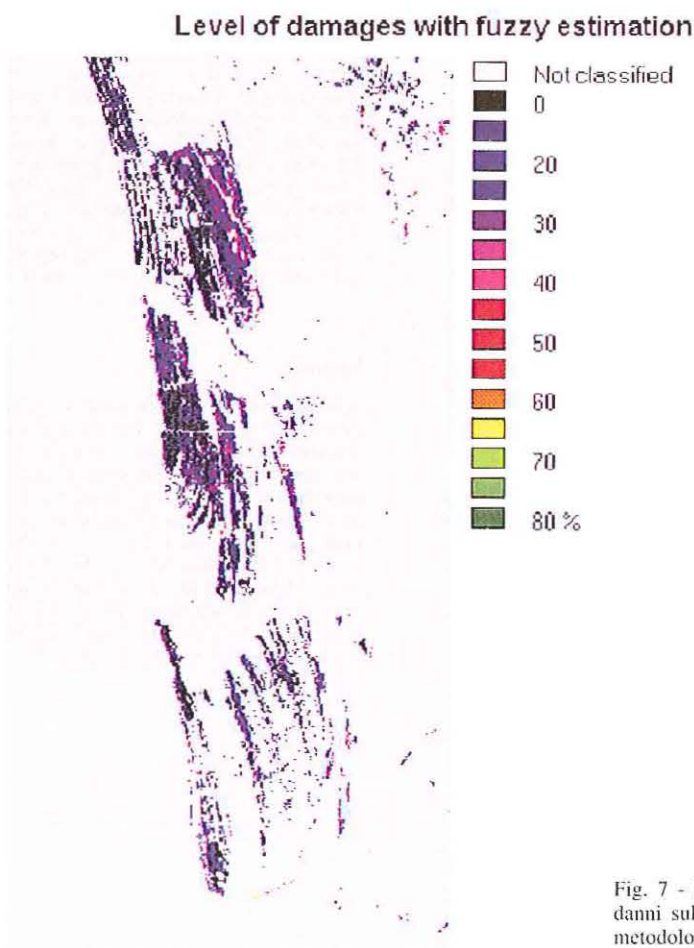


Fig. 7 - Esempio della mappa dei danni sulle conifere utilizzando la metodologia *fuzzy*.

Conclusioni

Il presente lavoro ha mostrato come sia possibile realizzare operativamente dei prodotti utilizzabili nel settore forestale ed ambientale, attraverso l'uso dei dati satellitari. Più in particolare i dati Landsat TM sono risultati adatti per questi scopi, nonostante la risoluzione a terra, grazie alla abbondante informazione spettrale che essi riportano riguardo alle condizioni vegetative delle pian-

te che è stata efficacemente estratta sia con la stima *fuzzy* sia con la tecnica decorrelante. Anche nel caso degli inventari e nella realizzazione di mappe di uso del suolo queste tecniche si sono dimostrate utili ed innovative anche sul piano operativo.

dott. Lorenzo Bottai

Libero Professionista
Firenze

email: l.bottai@fi.flashnet.it

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

EKSTRAND S., 1994 - *Assessment of forest damage with Landsat TM: Correction for varying forest stand characteristics*. Remote Sensing of Environment, 47: 291-302.

EKSTRAND S., 1996 - *Landsat TM based forest damage assessment: Correction for topographic effects*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 62: 151-161.

CHUVIECO E., CONGALTON R. G., 1988 - *Mapping and Inventory of Forest Fires from Digital Processing of TM Data*. Geocarto International, 4(1): 41-53.

CONGALTON R. G., ODERWALD R. G., MEAD R.A., 1983 - *Assessing Landsat Classification Accuracy Using Discrete Multivariate Analysis Statistical Techniques*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 49(2): 1671-1678.

FOODY G. M., CAMPBELL N. A., TRODD N. M., WOOD T. F., 1992 - *Derivation and applications of probabilistic measure of class membership from the maximum likelihood classification*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 62: 151-161.

MARCHETTI M., RICOTTA C., 1993 - *L'impiego di dati Landsat TM per il monitoraggio della ripresa vegetativa in aree incendiate*. Monti e Boschi, 3: 22-26.

MASELLI F., CONESE C., DE FILIPPIS T., NORCINI S., 1995 - *Estimation of forest parameters through fuzzy classification of TM data*. IEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 33: 77-84.

RICHARDS J. A., 1984 - *Thematic Mapping from multitemporal image data using the Principal Components transformation*. Remote Sensing of Environment, 26: 315-323.

RICHARDS J. A., 1993 - *Remote sensing digital image analysis: an introduction*. Springer-Verlag, Heidelberg, 340 pp.

RICHARDSON A. J., WIEGAND C. L., 1977 - *Distinguishing vegetation from soil background information*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 43(12): 1541-1552.

SINGH A., 1989 - *Digital change detection technique using remotely sensed data*. International Journal of remote Sensing, 10 (6): 989-1003.

Riassunto

I dati da satellite sono stati recentemente usati per mappare e monitorare aree coperte da foreste. Il presente lavoro analizza i potenziali utilizzi nel settore forestale ed ambientale presentando tre diverse applicazioni operative. La mappatura delle tipologie forestali e quelle di copertura del suolo sono possibili utilizzando sofisticati algoritmi d'analisi con inclusione di probabilità a priori in modo da considerare non solo l'informazione spettrale contenuta nei dati satellitari, ma anche quelle ausiliarie derivabili da GIS. Il monitoraggio dei danni incendio e danni più lievi, dovuti a cause naturali e non, è reso possibile utilizzando metodi di stima basati su logiche *fuzzy* e tecniche decorrelanti.

Summary

Satellite data have been recently used to map and monitoring forest areas. The present work analyses the potential uses in the environmental and forest field, presenting three different applications. It is possible to map the different forestry typology and land use classes with classification algorithms based on the inclusion of prior probability in order to consider not only the spectral information but also the ancillary information derived from the GIS. The damage monitoring, fires and damage due to natural and human cause, are performed using estimation method based on fuzzy classification logic and decorrelation technique.